

УДК 621.791

Е. Б. Вотинова

Уральский федеральный университет,

г. Екатеринбург

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СОСТАВА ПОКРЫТИЯ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Приведена методика расчета состава покрытия сварочных электродов с использованием результатов экспериментально-теоретического исследования процессов взаимодействия в системе металл-шлак-газ при ручной дуговой сварке.

Ключевые слова: ручная дуговая сварка, моделирование, коэффициент перехода элемента, состав металла шва.

E. B. Votnova

THE METHOD OF CALCULATION THE COMPOSITION OF THE COATING OF WELDING ELECTRODES

In the article given the procedure of calculation of the composition of coating welding electrodes with the use of results of an experimental and theoretical study of the processes of interaction in the system metal-slag- gas with the manual arc welding.

Keywords: manual arc welding, the simulation of the welding process, the conversion factor of the element, the calculation of the composition of weld material.

Разработанные физическая и математическая модели процесса сварки покрытыми электродами на основе метода полного материального баланса позволили создать систему уравнений, которая обеспечивает расчет усредненного и парциальных коэффициентов перехода элементов в наплавленный металл [1].

Знание парциальных коэффициентов перехода элементов в наплавленный металл позволяет решить обратную задачу: подобрать оптимальные концентрации компонентов покрытия сварочных электродов в зависимости от содержания в них необходимого (рассчитываемого) элемента. В то же время возможна следующая стадия совершенствования, когда корректировка состава

покрытия осуществляется с точки зрения доступности компонентов, экономической выгоды при производстве сварочных электродов.

Из системы уравнений [1] было выведено соотношение (1), которое показывает материальный баланс каждого элемента в металлической фазе:

$$m_{\vartheta_i} = m_{\text{эл}} \frac{1 - K_{\text{пот}}^{\text{ме}}}{1 + K_{\text{мп}}} \times \left\{ \frac{[\vartheta_i]_{\text{ст}}}{100} (1 - K_2^{\vartheta_i}) + \frac{K_{\text{мп}}}{1 + \frac{\alpha\beta}{100}} \left(\sum_{k=1}^k \frac{\% \text{фер}_k}{100} \frac{[\vartheta_i]_k}{100} (1 - K_1^{\vartheta_i}) + \left[\sum_{j=1}^j \frac{\% j}{100} \frac{(\vartheta_{in} O_m)_j}{100} + \frac{\alpha\beta}{100} \frac{(\vartheta_{in} O_m)_{\text{св}}}{100} \right] \frac{M_{\vartheta_i}}{M_{\vartheta_{in} O_m}} K_3^{\vartheta_i} \right) \right\} \quad (1)$$

Данное уравнение положено в основу методики совершенствования количества ферросплавов в шихте электродов, позволяющие при заданных параметрах режима получить необходимые (желаемые) концентрации легирующих элементов в наплавленном металле.

Методика решения задачи поиска содержания компонентов в покрытии сварочных электродов (ферросплавов) может быть представлена следующим образом.

1. Задать параметры режима: диаметр электрода (мм), сварочный ток (А) и напряжение на дуге (В). Источником данной информации может служить технологическая документация на сварку.

2. Рассчитать полную мощность источника нагрева P (кВт).

3. Рассчитать площадь сечения металлического стержня сварочного электрода S (мм²).

4. Рассчитать величину приведенной мощности P/S (кВт/мм²).

5. Задать значение концентрации данного элемента в наплавленном металле $[\vartheta_i^{\text{нм}}]$ (мас. %). Необходимая концентрация элемента может быть определена ГОСТом на типичный состав наплавленного металла – если производится совершенствование состава действующих покрытий или желаемая – если разрабатывается новый состав шихты электродного покрытия.

6. Задать коэффициент массы покрытия ($K_{\text{мп}}$) из диапазона рекомендуемых значений в ТУ на изготовление данной марки электродов.

7. По уравнению (2) рассчитать массу наплавленного металла (г)

$$m_{\text{св.ванны}} \cdot K_{\text{МП}} = 33,9 - 1,5 \cdot P. \quad (2)$$

8. Рассчитать массу данного элемента в наплавленном металле (г) по уравнению (3):

$$m_{\text{Э}_i} = m_{\text{св.ванны}} \frac{[\text{Э}_i^{\text{HM}}]}{100}. \quad (3)$$

9. Задать марку проволоки для изготовления стержня сварочного электрода.

10. Из марочника или ГОСТа задать концентрацию элемента Э_i в проволоке (мас. %).

11. Вычислить значения коэффициента потерь металла ($K_{\text{пот}}^{\text{ме}}$) по уравнению (4):

$$K_{\text{пот}}^{\text{ме}} = 1,3 \cdot K_{\text{МП}} + 0,025 \cdot P - 0,557 \quad (4)$$

12. По уравнениям, приведенным в таблице, рассчитать значения парциальных коэффициентов перехода элементов.

Элемент	$\eta_{\text{Э}_i}^{\phi}$	$\eta_{\text{Э}_i}^{\text{ст}}$	$\bar{\eta}_{\text{Э}_i}$
<i>Mn</i>	$1,30 - 2,15 \cdot P / S = 0,683$	$1,83 - 4,32 \cdot P / S = 0,590$	$1,41 - 2,65 \cdot P / S = 1,223$
<i>Si</i>	$0,67 - 1,40 \cdot P / S = 0,268$	$0,85 - 2,0 \cdot P / S = 0,276$	$0,85 - 2,0 \cdot P / S = 0,276$
<i>C</i>	$2,81 - 6,86 \cdot P / S = 0,841$	$1,24 - 1,53 \cdot P / S = 0,801$	$1,20 - 1,59 \cdot P / S = 0,743$

13. Расчеты по пунктам 5–12 осуществить для всех легирующих элементов.

14. Задать величины α и β , а также содержание оксида кремния в жидком стекле.

При нанесении покрытия опрессовкой α принимается в пределах 20 - 25 % от массы сухой смеси. Величина β определяется по эмпирической формуле (5):

$$\beta = 0,59 \cdot P + 0,028 \cdot m - 0,535, \quad (5)$$

где P - плотность жидкого стекла, г/см³; m - модуль жидкого стекла.

15. Подставить полученные данные в уравнение (1) для каждого

легирующего элемента в отдельности, таким образом получается система уравнений, в которой число уравнений совпадает с числом легирующих элементов.

16. При расчете по уравнению (1) принять содержание оксидных компонентов $\sum_{j=1}^j \frac{\% j (\Theta_{in} O_m)_j}{100 \cdot 100}$, как в исходных электродах.

17. Из уравнения (1) для каждого легирующего элемента найти величину A_{Θ_i} . Величина A_{Θ_i} представляет собой суммарное количество каждого легирующего элемента, введенного в покрытие электрода через ферросплав (6):

$$A_{\Theta_i} = \sum_{k=1}^k \frac{\% \text{фер}_K}{100} \cdot \frac{[\Theta_i]_K}{100} \quad (6)$$

18. Рассчитать количество ферросплавов в покрытии электродов.

Для этого необходимо выбрать марки ферросплавов, которые предполагают ввести в покрытие электродов. Подставить в уравнение (6) для каждого легирующего элемента концентрации данного элемента в выбранной марке ферросплава. Получится система уравнений, по которой можно найти концентрацию каждого ферросплава в покрытии электрода.

На данном этапе необходимо провести анализ марок ферросплавов. Анализ может проводиться как с точки зрения наличия данного компонента на предприятии (у поставщика), так и с точки зрения содержания элемента в нем. Следует обратить внимание и на выбор проволоки (см. п. 9, 10 Методики). Если требуемое содержание элемента в наплавленном металле можно получить из проволоки, то ферросплав можно выбрать с меньшим его содержанием, и наоборот.

19. Рассчитать массу каждого ферросплава по уравнению (7)

$$m_{\text{ФЕР}_K} = m_{\text{ЭЛ}} \cdot \frac{1 - K_{\text{пот}}^{\text{ме}}}{1 + K_{\text{МП}}} \cdot \frac{K_{\text{МП}}}{1 + \frac{\alpha\beta}{100}} \cdot \frac{\% \text{фер}_K}{100} \quad (7)$$

20. Рассчитать суммарную массу легирующих компонентов покрытия (ферросплавов) по выражению (8):

$$m_{\text{Л}} = \sum m_{\text{ФЕР}_K} \quad (8)$$

21. Рассчитать массу шлакообразующей части покрытия по уравнению (9) [2]:

$$m_{\text{ш}} = \frac{K_{\text{мп}}(100 - m_{\text{л}})}{1 + \frac{\alpha\beta}{100}} - m_{\text{л}}, \quad (9)$$

где $m_{\text{ш}}$ – сумма масс всех неметаллических компонентов покрытия, за исключением сухого остатка жидкого стекла.

22. Зная $m_{\text{л}}$, $m_{\text{ш}}$ и их сумму, можно определить массу стабилизирующих компонентов, необходимых для повышения технологических свойств электродов (сода, поташ и др.), а также пластификаторов, служащих для повышения технологичности изготовления электродов (калиевая слюда, бентонит и др.). Обычно их содержание задается в пределах 1–2 % от массы сухой смеси покрытия [2].

23. Рассчитать новое значение коэффициента массы покрытия $K_{\text{мп}}$ по уравнению (10). Значение массы сухого остатка жидкого стекла использовать из базового варианта [2].

$$K_{\text{мп}} = \frac{m_{\text{л}} + m_{\text{ш}} + m_{\text{с}}}{100 - m_{\text{л}}} \quad (10)$$

24. При необходимости повторить расчеты по пунктам 14 - 23.

Оценить необходимость повторного расчета по пунктам 14–24 можно из сравнения величин $K_{\text{мп}}$, полученных в двух последовательных вариантах. Если эти значения отличаются друг от друга не более чем на 10 % и входят в рекомендованный в ТУ интервал, то расчеты можно не повторять.

Аналогичным образом можно определить наиболее экономичный вариант состава покрытия электродов. Для этого необходимо рассчитать себестоимость различных вариантов состава покрытия, которые дают близкий по концентрациям легирующих элементов наплавленный металл, что гарантирует необходимые эксплуатационные характеристики при экономии ресурсов.

Применяя предложенную методику рассчитали состав шихты электродного покрытия для электродов УОНИ 13/45. Полученные значения концентраций ферросплавов находятся в следующих диапазонах:

ферромарганец 1,9–2,1 мас. %, ферросилиций 3,2–3,8 мас. %, ферротитан 11,0–15,0 мас. %.

Таким образом, можно сделать следующие выводы по результатам расчетов:

- предложенная методика позволяет рассчитывать содержание ферросплавов в шихте покрытия электродов;
- разработанный состав шихты покрытия электродов УОНИ 13/45 по содержанию ферросплавов близок к эффективному.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, контракт № Н979.42Б.002/14 «Исследование физических и химических процессов в зоне сварки для создания научных основ оптимизации технологий и разработки материалов».

Список литературы

1. Вотинова Е. Б., Шалимов М. П. Разработка методики расчета состава металла шва при сварке покрытыми электродами или порошковой проволокой // Сварка и диагностика. – 2011. – № 5. – С. 31–35.
2. Табатчиков А. С., Кулишенко Б. А. Расчет на ЭВМ состава защитно-легирующих покрытий электродов и шихты порошковой проволоки : методические указания к практическим занятиям по расчету сварочных материалов. – Свердловск : МИПК при УПИ им. С. М. Кирова, 1990. – 31 с.